



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Patentschrift**
(10) **DE 198 60 253 C 1**

(5) Int. Cl. 7:
B 01 D 53/22

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:
DBB Fuel Cell Engines GmbH, 73230 Kirchheim, DE

(72) Erfinder:
Wieland, Steffen, Dipl.-Ing., 70180 Stuttgart, DE;
Erdmann, Wolfgang, 70439 Stuttgart, DE; Schmid,
Carlo, Dipl.-Ing., 71229 Leonberg, DE; Breitschwert,
Sven, 71336 Waiblingen, DE; Heil, Dietmar,
Dipl.-Ing., 88477 Schwendi, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 54 86 475
EP 07 18 031 A1

(54) Membranmodul zur selektiven Gasabtrennung in Plattenstapelbauweise

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Membranmodul zur selektiven Gasabtrennung in Plattenstapelbauweise mit einer oder mehreren übereinander gestapelten Abtrenneinheiten sowie zwischenliegenden und/oder stapelend-seitigen Rahmenplatten, wobei jede Abtrenneinheit eine Trägerplatte mit einer Trenngasaufnahmestruktur und wenigstens eine zugehörige Gasabtrennmembran aufweist und die Rahmenplatten eine Mischgasströmungsraumstruktur besitzen.

Erfnungsgemäß beinhalten jede Abtrenneinheit und die Rahmenplatten in einem ersten und einem zweiten Seitenbereich je eine sich in Stapelrichtung erstreckende, von überlappenden Öffnungen in den Platten gebildete Mischgasanschlußkanalstrukturen, die mit den Mischgasströmungsraumstrukturen in Fluidverbindung stehen, sowie in einem dritten und vierten Seitenbereich entsprechende, in Stapelrichtung verlaufende Trenngasanschlußkanalstrukturen, die mit der oder den Trenngasaufnahmestrukturen in Fluidverbindung stehen.

Verwendung z. B. in Brennstoffzellenfahrzeugen zur Bereitstellung von Wasserstoff durch selektive Abtrennung aus dem Reformatgas einer Reformierungsreaktion.

DE 198 60 253 C 1

DE 198 60 253 C 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Membranmodul zur selektiven Gasabtrennung in Plattenstapelbauweise nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein solches Membranmodul ist zur selektiven Wasserstoffabtrennung in der Offenlegungsschrift EP 0 718 031 A1 beschrieben. Beim dortigen Membranmodul bilden die Abtrenneinheiten wasserstoffdurchlässige Verbundmembranen, die aus einer Trägermatrix bestehen, die beidseitig unter Zwischenfügung einer flexiblen Zwischenschicht mit einer selektiv wasserstoffdurchlässigen Metallschicht beschichtet sind. Die Trägermatrix beinhaltet eine zum Abführen des abgetrennten Wasserstoffs geeignete Wasserstoffaufnahmestruktur, indem sie aus einem porösen, perforierten oder geschlitzten Metall- oder Keramikmaterial oder einem wasserstoffdurchlässigen Metallmaterial gebildet ist. Zum Abführen des abgetrennten Wasserstoffs aus dem Plattenstapel sind an einem Stapelseitenbereich senkrecht zur Stapelrichtung seitlich ausmündende Wasserstoffauslässe vorgesehen, wobei auf der gegenüberliegenden Stapelseite zugehörige Spülgasinlässe seitlich in die jeweilige Trägermatrix einmünden. Die Verbundmembraneinheiten wechseln im Stapel mit Rahmenplatten ab, die unter Zwischenfügung von Dichtungen gegen die Verbundmembraneinheiten anliegend und deren innerer Bereich vollständig offen ist und auf diese Weise einen jeweiligen Mischgasströmlungsraum bilden. Mittels einer entsprechenden Anschluß- und Verbindungsstruktur auf den beiden Seitenbereichen, an denen sich auch die Spülgasinlässe und die Wasserstoffauslässe befinden, wird eine Mischgasströmungsführung erzielt, bei welcher das den Wasserstoff enthaltende Mischgas von einer Stapelstürmseite her in den Seitenbereich einer ersten Rahmenplatte, von dort durch deren Mischgasströmlungsraum hindurch zum gegenüberliegenden Seitenbereich und dort unter Umlenkung um 180° zur nächsten Rahmenplatte und durch deren Mischgasströmlungsraum hindurchgeleitet wird. Dies setzt sich fort, bis das Mischgas wasserstoffbefreit an der gegenüberliegenden Stapelstürmseite herausgeführt wird. Diese serpentinenförmige Mischgasströmungsführung bedingt entsprechende Druckverluste.

Aus der Patentschrift US 5.486.475 ist ein Membranmodul in Plattenstapelbauweise bekannt, bei dem eine Mehrzahl von Membrantascheeinheiten übereinander gestapelt sind, die aus einer Rahmenplatte bestehen, die oben und unten von einer gasdurchlässigen, flüssigkeitsfesten Membran umgeben ist, so daß im Inneren Taschen gebildet sind, die von einem Flüssigkeitsgemisch durchströmt werden können, mit der aus einem Mischgas abtrennende, unerwünschte Gase zur Reaktion gebracht werden können. Die Rahmenplatten sind in einem Seitenbereich mit Einlaßöffnungen und in einem gegenüberliegenden Seitenbereich mit Auslaßöffnungen versehen, um die Mischung in die Taschen einzuleiten und aus diesen wieder abführen zu können. Zwischen je zwei Membrantascheeinheiten sind an gegenüberliegenden Stapelseitenbereichen Abstandshalter eingebracht, wodurch zwischen den einzelnen Membrantascheeinheiten entsprechende Freiräume gebildet sind, in die eine Stützstruktur eingebracht sein kann und in die das Mischgas eingeleitet wird. Die Abstandshalter sind derart gelocht, daß an den beiden zugehörigen Stapelseitenbereichen parallel zur Stapelrichtung verlaufend einerseits ein Verteilerkanal und andererseits ein Sammelkanal gebildet ist, um das Flüssigkeitsgemisch parallel in die Membrantaschen zuzuführen und wieder abzuführen.

Wasserstoffabtrennende Membranmodule werden beispielsweise in Brennstoffzellenfahrzeugen dazu verwendet,

den durch eine Reformierungsreaktion eines Kohlenwasserstoffs oder Kohlenwasserstoffderivats erzeugten Wasserstoff selektiv aus dem Reformatgasgemisch abzutrennen, um ihn den Brennstoffzellen zuzuführen. Für derartige mobile Anwendungen in der Fahrzeugtechnik ist es aus Dynamik- und Bauraumgründen wünschenswert, das wasserstoffabtrennende Membranmodul so kompakt und leicht wie möglich zu gestalten. Daher sollte möglichst viel Membranfläche pro Volumeneinheit untergebracht werden können.

- 5 10 15 20 25
- Gleichzeitig ist die Strömungsführung zu berücksichtigen. Insbesondere sollten hohe Druckverluste vermieden werden, da sie die Leistungsfähigkeit des Membranmoduls herabsetzen. Denn die Abtrennleistung hängt direkt vom Druckgefälle zwischen dem hindurchgeleiteten Mischgas und dem daraus abgetrennten Gas ab. Andererseits muß das Membranmodul hohen Drücken unter Wasserstoffatmosphäre bei Temperaturen bis mindestens 350°C standhalten, und es sollte möglichst kostengünstig in hoher Stückzahl gefertigt werden können.
- Der Erfindung liegt daher als technisches Problem die Bereitstellung eines Membranmoduls in Plattenstapelbauweise der eingangs genannten Art zugrunde, das sich bei gegebener, geforderter Abtrennleistung vergleichsweise kompakt, leicht und druckstabil mit relativ geringem Aufwand fertigen läßt und im Betrieb nur relativ geringe Druckverluste verursacht.

Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung eines Membranmoduls mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Durch seinen modularen Aufbau in Plattenstapel-

- 30 35 40 45 50 55 60 65
- bauweise kann es sehr flexibel für unterschiedliche Abtrennleistungen ausgelegt werden. Die Plattenstapelbauweise ermöglicht zudem eine kostengünstige Fertigung. Durch geeignet in jeweiligen Seitenbereichen in die Abtrenneinheiten und die Rahmenplatten eingebrachte Anschlußöffnungen sind in Stapelrichtung verlaufende Anschlußkanalstrukturen zum Zu- und Abführen des Mischgases sowie zum Abführen des Trengases, d. h. des aus dem Mischgas selektiv abgetrennten Gases, gebildet. Über diese Anschlußkanalstrukturen kann das Mischgas mit relativ geringem Druckabfall parallel durch die Mischgasströmlungsräume geführt und das abgetrennte Trengas aus den Abtrenneinheiten abgezogen werden. Gleichzeitig erlaubt die Integration der Anschlußkanalstrukturen in den Plattenstapel eine kompakte Bauweise.
- Ein nach Anspruch 2 weitergebildetes Membranmodul beinhaltet einen rechteckförmigen Plattenstapel, bei dem das Mischgas parallel zur längeren Rechteckseite durch den Stapel geführt wird. Demgegenüber wird das Trengas im Kreuzstrom dazu über die kürzere Rechteckseite abgeführt.
- Damit läßt sich einerseits eine zur ausreichenden Trengasabtrennung benötigte Mischgasströmungslänge bereitstellen, während der Stapel in der dazu senkrechten Querrichtung kürzer gehalten werden kann, was zu einem kompakten Aufbau und zu geringen Druckverlusten beiträgt.
- Bei einem nach Anspruch 3 weitergebildeten Membranmodul weist die Trägerplatte jeder Abtrenneinheit ein- oder beidseitig eine Nut/Steg-Struktur auf, bei der die Nuten Kanäle zur Abführung des Trengases bilden. Auf die Nut/Steg-Struktur ist die jeweilige Gasabtrennmembran unter Zwischenfügung einer porösen Stützstruktur aufgebracht. Dadurch wird die Membran ausreichend gestützt, und das von ihr selektiv abgetrennte Trengas kann gleichmäßig in die Trägerplattennuten gelangen und von dort abgeführt werden.
- Bei einem nach Anspruch 4 weitergebildeten Membranmodul ist die jeweilige Gasabtrennmembran, gegebenenfalls samt einer zwischengefügten Stützstruktur, in einer Ausnehmung der angrenzenden Rahmenplatte angeordnet.

Dadurch kann sie bei der Montage des Membranmodul-Plattenstapels gegen Verrutschen gesichert in der Rahmenplattenausnehmung gehalten werden. Zudem besteht hierdurch die Möglichkeit, die Trägerplatte mit relativ geringem Aufwand als planes Bauteil fertigen zu können, in das ein- oder beidseitig die Trenngasaufnahmestruktur eingebracht ist.

Bei einem nach Anspruch 5 weitergebildeten Membranmodul sind durchgängig metallische Materialien für die verschiedenen Komponenten des Plattenstapels derart gewählt, daß die Komponenten durch ein einheitliches Löt- oder Schweißverfahren gasdicht zu dem Plattenstapel gefügt werden können. Dies reduziert den Fertigungsaufwand.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine verkürzte Querschnittsansicht einer Stapelbaueinheit eines Membranmoduls zur Wasserstoffabtrennung mit einer Abtrenneinheit und beidseitig anschließenden Rahmenplatten,

Fig. 2 eine Längsschnittsansicht längs der Linie II-II von Fig. 1.

Fig. 3 eine Draufsicht auf die der Abtrenneinheit abgewandte Seite einer der Rahmenplatten und

Fig. 4 eine Draufsicht auf die der Abtrenneinheit zugewandte Seite einer der Rahmenplatten.

Die in den Fig. 1 und 2 dargestellte Stapelbaueinheit für ein Wasserstoffabtrenn-Membranmodul in Plattenstapelbauweise besteht aus einer Abtrenneinheit 1, an die beidseitig je eine Rahmenplatte 2, 3 anschließt. Die Abtrenneinheit 1 beinhaltet eine Trägerplatte 4, die bis auf einen umlaufenden Randbereich beidseitig mit einer Nut/Steg-Struktur verschen ist, indem dort jeweils eine Reihe parallel verlaufender Nuten 5 eingebracht ist. Die Nuten 5 stellen eine Trenngasaufnahmestruktur dar, die den abgetrennten Wasserstoff aufnimmt und weiterleitet. Die Trägerplatte 4 fungiert damit als ein Wasserstoffblech mit beidseitiger, wasserstoffableitender Nut/Steg-Struktur 5. Zudem dient sie als Versteifung der Wandung. Auf jeder der beiden Seiten ist gegen die Nut/Steg-Struktur 5 jeweils ein wasserstoffdurchlässiges Metallgewebe 6 gelegt, gegen das andererseits je eine selektiv wasserstoffdurchlässige Metallmembran 7 anliegt.

Das Metallgewebe 6 dient dabei als Stützstruktur für die Metallmembran 7.

Wie aus Fig. 2 erkennbar, besitzen die Trägerplatte 4 und die beiden angrenzenden Rahmenplatten 2, 3 auf zwei gegenüberliegenden Seitenbereichen 8, 9 sich in Stapelrichtung fluchtend überlappende Anschlußöffnungen 10, 11, die damit entsprechende, in Stapelrichtung senkrecht zu den Ebenen der gestapelten Platten 1, 2, 3 verlaufende Wasserstoffanschußkanäle 12, 13 bilden, die mit den wasserstoffableitenden Trägerplattennuten 5 in Verbindung stehen. Abgetrennter Wasserstoff 14 kann so über die Nuten 5 zu einem Stapelseitenbereich geführt und über die dortigen Anschlußkanäle stirnseitig aus dem Plattenstapel abgezogen werden. Wie aus den Fig. 3 und 4 hervorgeht, sind entlang der beiden längeren Seiten 8, 9 der rechteckförmigen Platten je vier langlochförmige Wasserstoffanschußöffnungen 10, 11 ausgebildet. Die wasserstoffableitenden Nuten 5 erstrecken sich damit längs der kürzeren Querrichtung des Plattenstapels, so daß der abgetrennte, in den Nuten 5 gesammelte Wasserstoff über einen relativ kurzen Strömungsweg abgezogen werden kann. Um die Wasserstoffabführung zu fördern, kann in üblicher Weise ein Spülgas verwendet werden. Dieses wird dann stapelstirnseitig über die Wasserstoffanschußkanäle im einen Seitenbereich zugeführt, die dann als Spülgasverteilerkanäle fungieren, und zusammen mit dem mitgeführten Wasserstoff über die Wasserstoffanschußka-

näle im gegenüberliegenden Seitenbereich wieder stirnseitig aus dem Plattenstapel herausgeführt.

Die Rahmenplatten 2, 3 definieren je einen großflächigen Freiraum 15, 16, wobei diese Freiräume 15, 16 die abtrennaktive Fläche definieren, über die das zugeführte Mischgas mit den wasserstoffabtrennenden Membranen 7 in Kontakt steht. Die Membranen 7 und ihre zugehörigen Metallgewebe-Stützstrukturen 6 erstrecken sich umlaufend etwas über diese Freiräume 15, 16 hinaus, wobei sie in passenden Ausnehmungen 17, 18 aufgenommen sind, die in den Rahmenplatten 2, 3 auf deren der Abtrenneinheit 1 zugewandten Seite eingebracht sind. In Fig. 4 sind die seitlichen Ränder 18a, 18b zu erkennen, die entlang der kürzeren Plattenseite von einer durchgehenden Kante 18a und entlang der längeren Plattenseite von Anschlagstegen 18b gebildet sind, welche zwischen sich Durchlässe belassen, über welche die wasserstoffableitenden Trägerplattennuten 5 in die seitlichen Wasserstoffanschußkanäle 10, 11 münden.

Zum Aufbau eines betriebsfertigen Membranmoduls wird zunächst ein Stapel aus einem oder mehreren übereinander gestapelten Stapelbaueinheiten gemäß Fig. 1 und 2 gebildet, wonach dieser Stapel auf beiden Stirnseiten von nicht gezeigten Endplatten abgeschlossen wird. Dadurch bilden die Freiräume der beiden stirnseitigen Rahmenplatten zusammen mit der jeweiligen Endplatte und, bei Verwendung mehrerer Stapelbaueinheiten, je zwei Freiräume 15, 16 zweier aneinanderliegender Rahmenplatten 2, 3 Mischgasströmungsräume 19, durch die das Mischgas, d. h. das den abzutrennenden Wasserstoff enthaltende Gasgemisch, zwecks Abtrennung des Wasserstoffs über die Membranen 7 hindurchgeleitet werden kann.

Um das Mischgas zu- und abzuführen, sind in den beiden kürzeren Seitenbereichen 20, 21 der einzelnen Platten 1, 2, 3 je zwei langlochförmige Mischgasanschußöffnungen 22, 23 vorgesehen. Auf jedem dieser beiden Seitenbereiche 20, 21 überlappen sich die jeweils zwei Mischgasanschußöffnungen 22, 23 der übereinander gestapelten Platten 1, 2, 3 zur Bildung einer Mischgasanschußkanalstruktur aus je zwei parallelen, in Stapelrichtung verlaufenden Mischgasanschußkanälen 24, 25 auf jeder dieser beiden Plattenseiten 20, 21. Die von den Freiräumen 15, 16 der Rahmenplatten 2, 3 gebildeten Mischgasströmungsräume 19 stehen über Durchlässe 28 zwischen je zwei Stegen einer Kammstegstruktur 26, 27 mit den Mischgasanschußöffnungen 22, 23 und damit den von diesen gebildeten Mischgasanschußkanälen 24, 25 in Fluidverbindung. Dazu ist je eine solche Kammstegstruktur 26, 27 auf der von der Abtrenneinheit 1 abgewandten Seite jeder Rahmenplatte 2, 3 zwischen den Mischgasanschußöffnungen 22, 23 und dem zugehörigen Freiraum 15, 16 ausgebildet.

Im Betrieb wird dann das Mischgas 29 über die beiden parallelen Mischgasanschußkanäle des einen Stapelseitenbereichs, die dann als Mischgasverteilerkanäle fungieren, parallel in die Mischgasströmungsräume 19 eingeleitet, durchströmt diese entlang deren längerer Rechteckseite und kann dann über die beiden parallelen, als Sammelkanäle fungierenden Mischgasanschußkanäle des gegenüberliegenden Seitenbereichs wasserstoffbefreit wieder abgeführt werden. Damit fließt das Mischgas im Kreuzstrom zum abgetrennten Wasserstoff längs der längeren Stapelquerseite, während der Wasserstoff über die kürzere Stapelquerseite abgezogen wird. Dies hat den Vorteil, daß bei gegebener Mischgasströmungslänge, die zur ausreichenden Wasserstoffabtrennung erforderlich ist, eine kompakte Bauform des Plattenstapel-Membranmoduls erzielbar ist. Außerdem sind in diesem Membranmodul die Druckverluste sehr gering, da das Mischgas über Anschlußkanäle mit vergleichsweise großem Querschnitt zu- und abgeführt und zwischen

Zu- und Abfuhrkanal geradlinig durch die Stapelquerebenen geführt wird, ohne daß es serpentinensförmig umgeleitet wird. Ein weiterer Vorteil des dergestalt aufgebauten Moduls besteht darin, daß die Zu- und Abfuhr des Mischgases ebenso wie die Abfuhr des Wasserstoffs und ggf. die Zufuhr des Spülgases sämtlich über eine oder beide Stapelstirnseiten erfolgen kann, so daß keine Zugänglichkeit zum Plattenstapel an dessen Querseiten erforderlich ist. Zudem ist das Membranmodul sehr druckstabil, insbesondere sind die Wasserstoffabtrennmembranen 7 gegen den vom jeweils benachbarten Mischgasströmungsraum 19 einwirkenden Druck ausreichend durch das wasserstoffdurchlässige Metallgewebe 6 abgestützt, ohne daß dadurch die Wasserstoffableitfunktion der Trägerplatten 4 behindert wird.

Ein großer herstellungstechnischer Vorteil ist erzielbar, wenn die Rahmenplatten 2, 3 und die Trägerplatte 4 ebenso wie die Wasserstoffabtrennmembranen 7 und deren Metallgewebe-Stützstruktur 6 aus löt- oder schweißfähigen Materialien gefertigt sind. Für die Rahmenplatten 2, 3 und die Trägerplatte 1 kommt hierbei insbesondere Edelstahl in Betracht, für die Wasserstoffabtrennmembranen 7 ein spezifisch wasserstoffdurchlässiges Metallmaterial, wie Metalle der Elementgruppen IVb, Vb und VII und deren Legierungen, und für deren Stützstruktur ein ausreichend gasdurchlässiges Gewebe, beispielsweise aus Metall. In diesem Fall können alle diese Komponenten des Membranmoduls durch eine geeignete Löt- oder Schweißabfolge eines Löt- oder Schweißverfahrens gasdicht zu dem Plattenstapel zusammengefügt werden. Als Schweißverfahren eignen sich beispielsweise Laserstrahl-, Ultraschall- oder Rollnahtschweißen. Dabei können die einzelnen Platten sukzessive an den jeweils schon bestehenden Stapel angelegt und mit diesem gasdicht verbunden werden, oder es können zunächst die gewünschte Anzahl einzelner Stapelbaueinheiten aus je einer Abtrenneinheit 1 und den beiden an sie angefügten Rahmenplatten 2, 3 vorgefertigt und anschließend die einzelnen Stapelbaueinheiten zum gesamten Membranmodul-Plattenstapel zusammengebaut werden. Ein dergestalt aus Metall gefertigtes Membranmodul hält hohen Drücken unter Wasserstoffatmosphäre bei Temperaturen bis 350°C stand, wie dies beispielsweise bei der Wasserstoffabtrennung aus dem Reformatgas einer Wasserdampfreformierung von Methanol gefordert ist. Der Zusammenbau des Moduls durch Löten oder Schweißen kann in hohen Stückzahlen sowie mit hoher Prozess- und Herstellgenauigkeit kostengünstig erfolgen. Je nach Anwendungsfall können die jeweiligen Stapelbaueinheiten oder daraus gebildete, größere Stapelteileinheiten vor dem vollständigen Zusammenbau auf Dichtheit getestet werden. Die modulare Bauweise erlaubt eine einfache Anpassung an verschiedene Leistungsklassen, indem unterschiedlich viele Stapelbaueinheiten und/oder Platten mit unterschiedlichen Grundmaßen verwendet werden.

Insgesamt macht das oben beschriebene Beispiel deutlich, daß sich das erfundungsgemäße Membranmodul in einer sicheren Prozeßführung durch Fügen, z. B. mittels Laserstrahlschweißen, mit sehr hohen Vorschubgeschwindigkeiten kompakt und modular bauen läßt. Die Art der Strömungskanäle führt nur zu geringen Druckverlusten und zu einer gleichmäßigen Strömungsverteilung. Mit dem erfundungsgemäßen Membranmodul kann Wasserstoff mit einem Reinheitsgrad von größer als 99,99999% aus dem Reformatgas einer Methanolreformierungsreaktion abgetrennt und in dieser hohen Reinheit z. B. einem Brennstoffzellensystem zugeführt werden. Es versteht sich, daß das Membranmodul auch für andere Zwecke überall dort nutzbringend einsetzbar ist, wo ein mittels einer Abtrennmembran selektiv abtrennbares Gas aus einem Gasgemisch abgetrennt werden soll.

Patentansprüche

1. Membranmodul zur selektiven Gasabtrennung in Plattenstapelbauweise, insbesondere zur Wasserstoffabtrennung, mit

- einer oder mehreren übereinander gestapelten Abtrenneinheiten (1) sowie zwischenliegenden und/oder stapelende-seitigen Rahmenplatten (2, 3), wobei jede Abtrenneinheit eine Trägerplatte (4) mit einer Trengasaunahmestruktur (5) und wenigstens eine zugehörige Gasabtrennmembran (7) aufweist und die Rahmenplatten eine Mischgasströmungsraumstruktur (15, 16) beinhalten, dadurch gekennzeichnet, daß

- jede Abtrenneinheit (1) und die Rahmenplatten (2, 3) in einem ersten Seitenbereich (20) angeordnete, erste Mischgasanschlußöffnungen (22), die sich in Stapelrichtung unter Bildung einer ersten Mischgasanschlußkanalstruktur (24) überlappen, in einem zweiten Seitenbereich angeordnete, zweite Mischgasanschlußöffnungen (23), die sich in Stapelrichtung unter Bildung einer zweiten Mischgasanschlußkanalstruktur (25) überlappen, in einem dritten Seitenbereich (8) angeordnete, erste Trengasanschlußöffnungen (10), die sich in Stapelrichtung unter Bildung einer ersten Trengasanschlußkanalstruktur (12) überlappen, und in einem vierten Seitenbereich (9) angeordnete, zweite Trengasanschlußöffnungen (11) aufweisen, die sich in Stapelrichtung unter Bildung einer zweiten Trengasanschlußkanalstruktur (13) überlappen, wobei die beiden Mischgasanschlußkanalstrukturen mit den Mischgasströmungsraumstrukturen (15, 16) und die beiden Trengasanschlußkanalstrukturen mit der oder den Trengasaunahmestrukturen (5) in Fluidverbindung stehen.

2. Membranmodul nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, daß jede Abtrenneinheit (1) und die Rahmenplatten (2, 3) rechteckförmig sind und sich die beiden Mischgasanschlußkanalstrukturen (24, 25) an den beiden kürzeren Rechteckseiten sowie die beiden Trengasanschlußkanalstrukturen (12, 13) an den beiden längeren Rechteckseiten befinden.

3. Membranmodul nach Anspruch 1 oder 2, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die jeweilige Trägerplatte (4) ein- oder beiseitig als Trengasaunahmestruktur eine Nut/Steg-Struktur (5) aufweist, gegen welche die jeweilige Gasabtrennmembran (7) unter Zwischenfüllung einer porösen Stützstruktur (6) anliegt.

4. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 3, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die jeweilige Gasabtrennmembran (7) in einer Ausnehmung (17, 18) der angrenzenden Rahmenplatte (2, 3) aufgenommen ist.

5. Membranmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gasabtrennmembran (7) aus einem für das abzutrennende Gas durchlässigen Metallmaterial besteht, die Stützstruktur (6) von einem Metallgewebe gebildet ist, die Trägerplatte (4) und die Rahmenplatten (2, 3) aus Edelstahl gefertigt sind und alle genannten Komponenten durch ein Löt- oder Schweißverfahren gasdicht zum Plattenstapel zusammengefügt sind.

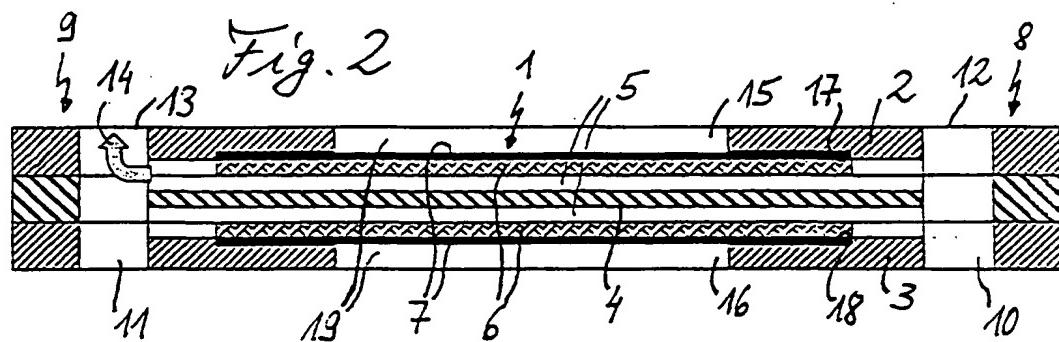
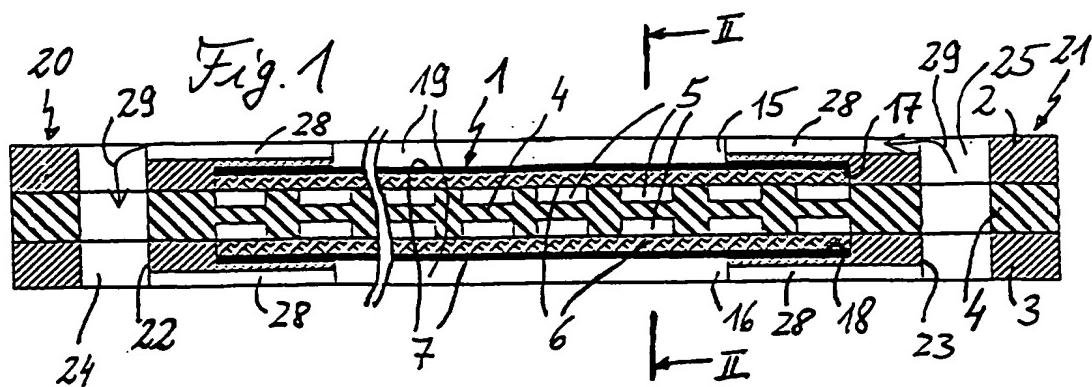


Fig. 3

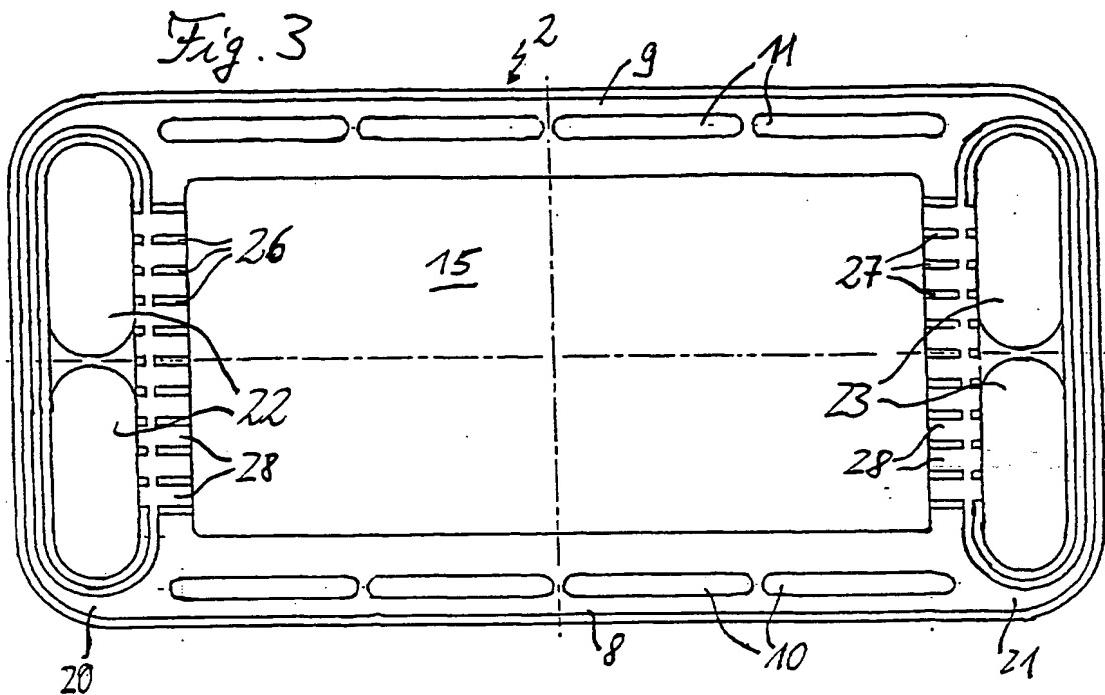


Fig. 4

